

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Perencanaan adalah kegiatan yang sangat penting sebelum dilakukan sebuah proyek. Kesalahan dalam pelaksanaan proyek bisa menimbulkan kerugian. Perencanaan yang mantab sebelum dilakukan pekerjaan tidak hanya menghemat biaya tetapi juga bisa menghemat waktu dan tenaga. Ada tiga hal penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur yaitu beban, kekuatan bahan, dan keamanan. Pada tahap perencanaan struktur bawah (pondasi) gedung *NEO Java Condotel*, perlu dilakukan studi pustaka yang salah satunya bertujuan untuk mengetahui jenis pondasi yang sesuai dengan keadaan tanah di proyek.

Pada proyek pembangunan gedung *NEO Java Condotel* ini digunakan pondasi tiang bor (*bored pile*). Penggunaan jenis pondasi tiang bor (*bored pile*) ini berdasarkan kedalaman tanah keras dan kondisi lingkungan. Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan apabila letak lapisan tanah keras cukup dalam. Lapisan tanah keras pada tanah proyek dapat diketahui melalui data sondir atau *Cone Penetration Test (CPT)* yang telah dilakukan sebelumnya.

Selain itu, proyek pembangunan gedung condotel ini berada di kawasan pemukiman dan tempat wisata terkenal Kota Batu. Dengan pemasangan pondasi tiang bor (*bored pile*) ini tidak akan menimbulkan getaran tanah seperti pondasi tiang pancang yang mana akan menimbulkan kerusakan pada bangunan di dekatnya. Dan juga tidak menimbulkan suara bising alat pancang seperti pada pemasangan pondasi tiang pancang.

2.2 Pondasi Tiang

2.2.1 Klasifikasi Jenis Tiang

Berikut ini adalah jenis-jenis pondasi tiang:

- a) Tiang pancang
- b) Pancang dan cor di tempat

- c) Tiang bor
- d) Tiang komposit

Tipe tiang pada (a) dan (b) di atas disebut sebagai tiang perpindahan yang terbagi menjadi tiang pemindahan yang besar untuk bagian preformed padat dan semua tipe penggerak dan tempat; dan tiang perpindahan kecil untuk tubular berongga, kotak atau bagian-H. Jenis yang tercantum pada (c) disebut sebagai tiang pengganti. Jenis (d) bisa termasuk dalam klasifikasi apapun (Tomlinson, M.J, 2001).

Daftar di atas mungkin pada pandangan pertama menyajikan pilihan yang agak membingungkan bagi insinyur. Namun, dalam praktiknya ditemukan bahwa tiga faktor utama - lokasi dan jenis struktur, kondisi tanah, dan daya tahan - akan mempersempit pilihan menjadi tidak lebih dari satu atau dua tipe dasar. Seleksi terakhir kemudian dibuat dari pertimbangan biaya keseluruhan (Tomlinson, M.J, 2001).

Berkaitan dengan faktor pertama, lokasi dan jenis struktur, tiang yang dipancang atau tiang pancang dan dicor di tempat yang mana kerangka tetap berada pada posisi adalah yang paling disukai untuk pekerjaan di atas air seperti tiang di struktur dermaga. Struktur di darat menyajikan berbagai jenis tiang, dan tipe bor atau pancang dan dicor di tempat biasanya termurah untuk pembebanan sedang dan kondisi lokasi yang tidak terganggu. Namun, kedekatan bangunan yang ada seringkali akan memerlukan pemilihan tipe yang dapat dipasang tanpa *ground heave* atau *vibration*, misal beberapa bentuk tiang bor dan cor di tempat. Tiang jacked adalah tipe yang cocok untuk mendasari struktur yang ada. Tiang bor berdiameter besar biasanya merupakan tipe yang paling ekonomis untuk struktur yang sangat berat, terutama di tanah yang bisa dibor dengan *power augers* (Tomlinson, M.J, 2001).

Kondisi tanah mempengaruhi pemilihan jenis tiang dan teknik memasang tiang. Misalnya, tiang pancang tidak dapat digunakan secara ekonomis di tanah yang mengandung batu-batu besar dan di mana gaya angkat tanah akan merugikan. Di sisi lain, tiang pancang lebih disukai

untuk pasir yang lepas dari air dan kerikil yang bisa mereka pancang tanpa kesulitan mencapai tanah yang lebih padat di kedalaman. Tiang baja H, yang memiliki perpindahan tanah rendah, cocok untuk kondisi di mana penetrasi dalam diperlukan di pasir dan kerikil. Lapisan tanah liat kaku mendukung penerapan jenis bor dan *under-reamed*. Dasar *under-reamed* yang berada di tanah tanpa kohesi memerlukan peralatan dan teknik khusus (Tomlinson, M.J, 2001).

Daya tahan sering mempengaruhi pemilihan tipe tiang. Untuk tiang pancang pada daerah laut, tiang beton pracetak lebih disukai daripada tiang baja dari aspek ketahanan terhadap korosi. Tiang kayu dapat ditolak untuk daerah laut karena risiko serangan oleh perusak tipe moluska. Dimana tanah mengandung sulfat atau zat berbahaya lainnya, tiang yang mengandung unit beton pracetak berkualitas tinggi lebih disukai daripada tiang yang dibentuk dengan menempatkan beton di tempat pada kondisi dimana menempatkan kesulitan, seperti adanya air tanah, dapat menyebabkan beton tidak benar-benar dipadatkan (Tomlinson, M.J, 2001).

Setelah memilih satu atau dua tipe dasar dari pertimbangan faktor-faktor di atas, pilihan terakhir dibuat dari pertimbangan biaya. Ini tidak berarti harga terendah yang tercantum per meter run of pile. Insinyur harus menilai keseluruhan biaya pekerjaan *pilling*. Dia harus mempertimbangkan sumber daya kontraktor *pilling* untuk mencapai kecepatan operasi yang diperlukan oleh program konstruksinya; kemungkinan harus mengambil tiang ke kedalaman yang lebih besar daripada yang diperkirakan oleh kontraktor *pilling*; pengalaman kontraktor *pilling* dalam mengatasi kondisi sulit yang mungkin terjadi; biaya program uji beban ekstensif di lokasi di mana insinyur tidak memiliki cukup pengalaman tentang perilaku tipe tiang yang dipilih dalam kondisi tanah tertentu; biaya uji beban cek rutin; biaya pengawasan insinyur pemasangan tiang dan uji beban; dan biaya organisasi lokasi kontraktor dan kelebihan yang terjadi antara waktu

pembersihan situs awal dan saat dia dapat melanjutkan dengan struktur atas (Tomlinson, M.J, 2001).

2.2.2 Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)

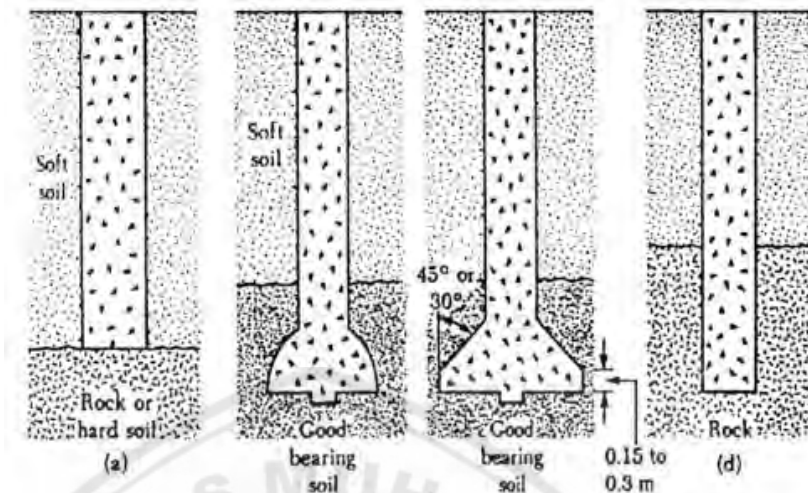
Pondasi berfungsi untuk meneruskan/mendistribusikan beban dari struktur atas (*super structure*) ke tanah agar keseluruhan bangunan dapat berdiri kokoh di atas tanah. Pondasi tiang bor (*bored pile*) digunakan apabila tanah dasar yang kokoh yang mempunyai daya dukung besar terletak cukup dalam. Pondasi tiang dibuat dengan satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat di bawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi (Nakazawa K., 1983). Perencanaan pondasi tiang bor (*bored pile*) meliputi rangkaian kegiatan yang dilakukan dengan berbagai tahap, yang mencakup studi kelayakan dan perencanaan teknis. Semua itu dilakukan agar dapat menjamin hasil akhir suatu konstruksi yang kuat, aman, dan ekonomis.

Daya dukung tiang bor (*bored pile*) didapatkan dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung gesek didapatkan dari tahanan gesek atau gaya adhesi antara tiang bor (*bored pile*) dengan tanah di sekelilingnya. Pondasi tiang bor (*bored pile*) berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu menahan dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang tepat maka dibutuhkan suatu penyelidikan tanah yang tepat juga. Tiang ini umumnya digunakan pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga ada kemungkinan untuk membuat lubang yang stabil dengan alat bor. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan daya dukung ujung tiang.

Terdapat beberapa jenis pondasi tiang bor (*bored pile*), yaitu:

- a. Tiang bor (*bored pile*) lurus untuk tanah keras.
- b. Tiang bor (*bored pile*) yang ujungnya diperbesar berbentuk bel.
- c. Tiang bor (*bored pile*) yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium.

d. Tiang bor (*bored pile*) lurus untuk tanah berbatu.



Gambar 2.1 Jenis-jenis Pondasi Bored Pile

(Sumber: Braja M. Das, 1941)

Terdapat beberapa alasan digunakannya pondasi tiang bor (*bored pile*) pada konstruksi, antara lain:

- Pondasi tiang bor (*bored pile*) tunggal dapat dipakai pada tiang kelompok atau *pile cap*.
- Kedalaman tiang bisa divariasikan.
- Pada proses pemancangan, getaran tanah akan menimbulkan kerusakan pada bangunan di dekatnya. Namun, dengan penggunaan pondasi tiang bor (*bored pile*) kerusakan tersebut bisa dicegah.
- Pada pondasi tiang pancang, proses pemancangan pada tanah lempung akan mengakibatkan tanah bergelombang dan tiang pancang sebelumnya bergerak ke samping. Hal ini tidak terjadi pada konstruksi pondasi tiang bor (*bored pile*).
- Selama pelaksanaan pondasi tiang bor (*bored pile*) tidak menimbulkan suara yang berasal dari alat pancang seperti pada pelaksanaan pondasi tiang pancang.
- Dengan dasar pondasi tiang bor (*bored pile*) yang bisa diperbesar, maka bisa memberikan ketahanan yang tinggi untuk gaya ke atas.
- Permukaan di atas dimana tiang bor (*bored pile*) dibangun bisa diperiksa secara langsung.

- h. Pondasi tiang bor (*bored pile*) memiliki ketahanan yang tinggi terhadap beban lateral.

Beberapa kelemahan dari pondasi tiang bor (*bored pile*) antara lain:

- a. Keadaan cuaca yang buruk bisa mempersulit pengeboran dan pengecoran, namun bisa ditangani dengan cara menunda pengeboran dan pengecoran hingga keadaan cuaca memungkinkan atau dengan memasang tenda sebagai penutup.
- b. Pengeboran bisa mengakibatkan gangguan kepadatan bila tanah berupa pasir atau tanah berkerikil. Oleh karena itu, digunakan bentonite untuk menahan longsor.
- c. Pengecoran beton susah jika ada pengaruh dari air tanah karena mutu beton tidak bisa dikontrol dengan baik. Sehingga bisa ditangani dengan menggunakan ujung pipa tremie berjarak 25-50 cm dari dasar lubang pondasi.
- d. Air yang mengalir ke dalam lubang bor bisa mengganggu tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang. Penanganan dapat dilakukan dengan cara menghisap dan membuang air yang mengalir kembali ke dalam kolam air.
- e. Tanah runtuh (*ground loss*) dapat terjadi jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, sehingga perlu dipasang casing untuk mencegah longsor
- f. Dengan diameter tiang cukup besar dan membutuhkan beton dan material yang banyak, untuk pekerjaan kecil mengakibatkan kenaikan biaya. Oleh karena itu, dimensi tiang bor (*bored pile*) harus sesuai dengan kebutuhan.
- g. Walaupun penetrasi hingga ke tanah pendukung pondasi dirasa telah memenuhi, seringkali terjadi tiang pendukung kurang sempurna karena di dasar pondasi terdapat lumpur. Sehingga perlu pemasangan pipa paralon pada tulangan tiang bor (*bored pile*) untuk pekerjaan injeksi semen dasar (*base grouting*).

Untuk alasan ekonomi dan kebutuhan untuk mengembangkan gesekan kulit pada tiang, adalah normal untuk menarik casing selama atau setelah menempatkan beton. Seperti pada kasus *driven-and-cast-in-place piles*, prosedur ini memerlukan perawatan yang cermat dan teliti oleh operator untuk mencegah beton terangkat oleh casing, dan dengan demikian mengakibatkan rongga pada corong. Penulangan tidak selalu dibutuhkan pada tiang bor dan cor di tempat kecuali memuat beban *uplift* (*uplift* dapat terjadi karena pembengkakan dan penyusutan tanah liat). Penulangan juga mungkin diperlukan di bagian atas tiang untuk menahan momen lentur yang disebabkan oleh eksentrisitas dalam penerapan beban. Namun, seringkali dilakukan tindakan pencegahan dengan menggunakan penulangan sepanjang tiang dimana dukungan sementara oleh casing diperlukan sepanjang kedalaman tiang. Penulangan bertindak sebagai peringatan perlawanan terhadap gaya angkat beton saat casing tertarik (Tomlinson, M.J, 2004).

2.2.3 Dasar Pemilihan Pondasi Tiang Bor

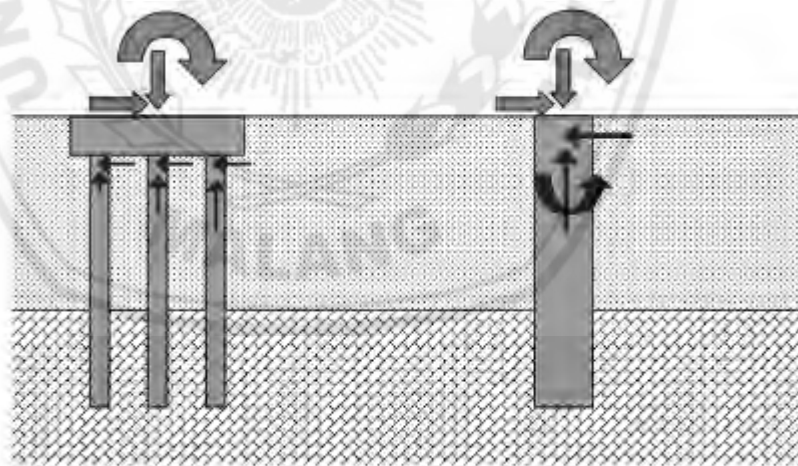
Tiang bor dapat dipasang di berbagai profil tanah dan batuan, dan paling efisien digunakan pada lapisan *bearing* yang kuat. Bila diletakkan di dalam atau di atas batu, tahanan aksial yang sangat besar dapat dicapai pada pondasi dengan tapak kecil. Penggunaan dukungan tiang tunggal menghindari kebutuhan akan *pile cap* dengan petugas penggalian dan penunjang penggalian yang menyertainya, sebuah fitur yang dapat menjadi penting di mana pondasi baru dibangun di dekat struktur yang ada. Pondasi di atas air seringkali dapat dibangun melalui casing permanen, menghindari kebutuhan akan cofferdam (FHWA NHI-10-016).

Tiang bor juga dapat dipasang pada tanah yang keras dan tahan gores dan formasi batuan yang ditemukan di bawah tanah yang dapat ditelusuri dalam kondisi dimana pemasangan tiang pancang mungkin tidak praktis atau tidak mungkin dilakukan. Tiang bor telah meningkatkan penggunaan jembatan jalan raya di daerah yang aktif seismik karena

kekuatan lentur kolom yang berdiameter besar dari beton bertulang. Tiang bor dapat digunakan sebagai fondasi untuk aplikasi lain seperti dinding penahan, dinding suara, tanda, atau lampu tiang tinggi dimana dukungan sederhana untuk beban guling adalah fungsi utama pondasi (FHWA NHI-10-016).

2.2.4 Pondasi Tiang Kelompok VS Tiang Tunggal

Penggunaan kelompok tiang bor harus dipertimbangkan dalam kasus dimana beban pondasi membuat pondasi tiang tunggal sangat besar dan sangat mahal. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.2, momen overturning yang besar paling efektif dilawan dengan menggunakan kelompok tiang karena efisiensi tahanan momen yang dihasilkan oleh ketahanan aksial tiang yang berjarak jauh dalam kelompok. Karena kebutuhan akan alat berat yang besar untuk memasang pondasi tiang tunggal yang berdiameter lebih besar dari 8 kaki, kelompok tiang yang berdiameter lebih kecil mungkin lebih hemat biaya dalam banyak situasi (FHWA NHI-10-016).



Gambar 2.2 Tiang Bor Kelompok dengan Tiang Bor Tunggal

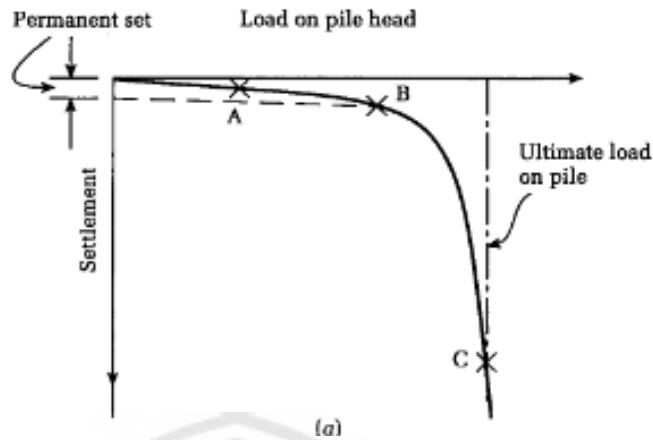
(Sumber: FHWA NHI-10-016)

Pondasi kelompok kurang menguntungkan dimana biaya atau kesulitan yang terkait dengan konstruksi *pile cap* mungkin signifikan. Di daerah di mana tapak pondasi harus dibatasi agar sesuai atau berada di sekitar struktur-struktur yang telah ada, kelompok pondasi dapat

menghadirkan masalah akses. Untuk pondasi di atas air, konstruksi *cap* bisa menjadi biaya besar dan lebih memakan waktu untuk dibangun. Selain itu, gerusan mungkin kurang parah dengan tapak yang lebih kecil dari tiang tunggal dibandingkan dengan kelompok (FHWA NHI-10-016).

2.2.5 Perilaku Tiang dan Kelompok Tiang Akibat Beban

Hubungan penurunan untuk tiang tunggal yang dipancang ke dalam pasir saat mengalami beban vertikal sampai titik kegagalan ditunjukkan pada Gambar 2.3. Pada tahap awal pemuatan, penurunan sangat kecil dan karena hampir seluruhnya bergerak elastis pada tiang dan tanah di sekitarnya. Bila beban dilepaskan pada titik seperti A pada Gambar 2.3 kepala tiang akan pulih hampir ke tingkat semula. Seiring dengan bertambahnya beban, kurva penurunan beban yang melengkung terjal, dan pelepasan muatan dari titik B akan kembali menunjukkan lambungan elastis, namun kepala tiang tidak akan kembali ke tingkat semula, yang menunjukkan bahwa beberapa 'permanent set' telah terjadi. Pembacaan alat pengukur regangan (*strain gauge*) akan menunjukkan bahwa badan tiang telah meningkatkan sejumlah gesekan kulit namun beban yang ditumpu oleh badan tiang tidak akan sama dengan beban total pada tiang, yang menunjukkan bahwa sebagian proporsi beban sekarang ditumpu oleh tahanan ujung. Ketika beban mendekati titik kegagalan C, penurunan meningkat dengan cepat dengan sedikit kenaikan lebih lanjut dari beban. Sebagian besar beban utama sekarang ditumpu oleh ujung tiang (Tomlinson, M.J, 2001).



Gambar 2.3 Pengaruh Beban pada Tiang - Kurva Penurunan Akibat Beban

(Sumber: M.J Tomlinson, 2001)

Pada keadaan batas yang sesuai dengan titik C pada Gambar 2.3 daya dukung utama tumpukan diberikan oleh persamaan

$$Q_p = Q_s + Q_b - W_p \quad (2.1)$$

dimana,

Q_s = tahanan gesek ultimit

Q_b = tahanan ujung ultimit

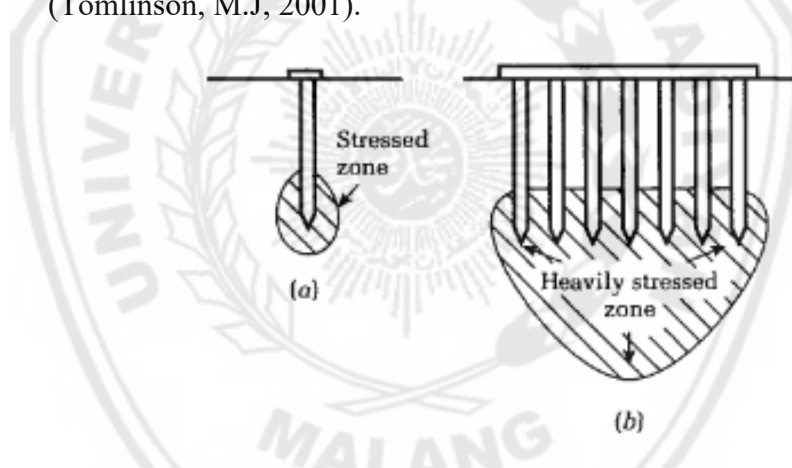
W_p = berat tiang.

Biasanya W_p bernilai kecil dalam kaitannya dengan Q_p dan sering diabaikan karena tidak jauh lebih besar dari berat tanah yang dipindahkan. Namun, harus dipertimbangkan untuk *marine pilling* dimana proporsinya cukup besar dari panjang tiang meluas di atas dasar laut (Tomlinson, M.J, 2001).

2.2.6 Perilaku Kelompok Tiang

Seperti yang dinyatakan sebelumnya, penting untuk mempertimbangkan akibat dari pemancangan (*driving*) dan pemuatan (*loading*) tiang dalam kelompok. Hanya jika tiang yang dibawa ke lapisan keras yang tak tergoyahkan adalah penurunan sekelompok tiang yang sama dengan tiang tunggal di bawah beban kerja yang sama seperti setiap tiang dalam kelompok. (Tomlinson, M.J, 2001).

Jika tiang didorong ke lapisan *compressible bearing*, seperti lapisan tanah liat yang kaku, atau jika lapisan *bearing* itu sendiri relatif tidak kompresibel (pasir padat, misalnya) namun ditopang oleh lapisan kompresibel, maka daya dukung kelompok tiang mungkin jauh lebih kecil daripada jumlah tiang tunggal. Juga, penurunan kelompok tiang kemungkinan akan berkali-kali lebih besar daripada tiang tunggal di bawah beban kerja yang sama. Ini diilustrasikan oleh Gambar 2.4 (a) dan (b). Dalam kasus tiang tunggal (Gambar 2.4 (a)) hanya zona kecil tanah kompresibel di sekitar atau di bawah tiang yang terkena tegangan vertikal; sedangkan dengan kelompok tiang besar (Gambar 2.4 (b)), kedalaman tanah yang cukup di sekitar dan di bawah kelompok ditekan dan penurunan keseluruhan kelompok mungkin berukuran besar (Tomlinson, M.J, 2001).



Gambar 2.4 Perbandingan Zona Tegangan pada (a) Tiang Tunggal (b) Kelompok Tiang

(Sumber: M.J Tomlinson, 2001)

Masalah stabilitas kelompok tiang adalah, pertama, kemampuan tanah di sekitar dan di bawah blok tanah yang mengandung kelompok tiang untuk mendukung keseluruhan beban struktur dan, kedua, pengaruh konsolidasi tanah untuk kedalaman yang cukup di bawah kelompok tiang. Maka, cara pemasangan masing-masing tiang, baik dengan dipancang (*driving*), dibor (*boring*), atau jacking, tidak banyak berpengaruh pada kedua masalah ini. Hal ini karena zona tanah yang

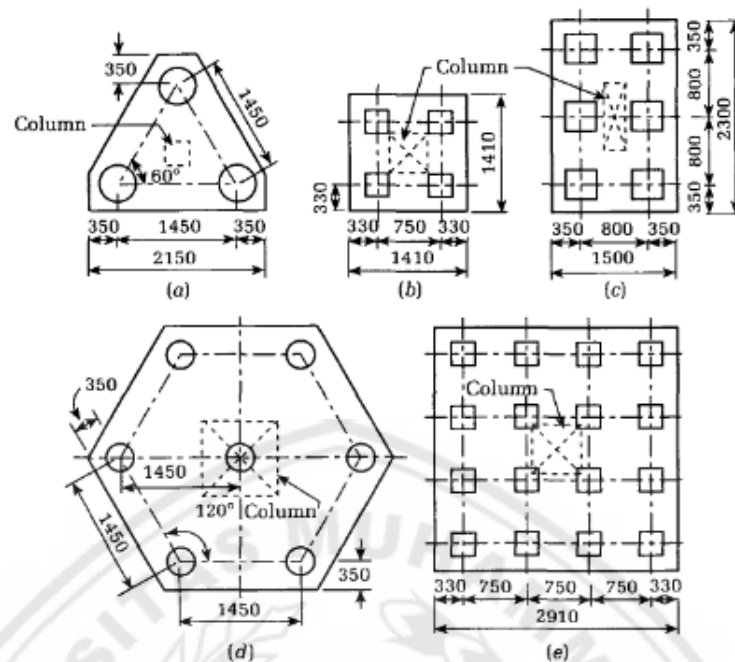
terkena dampak metode pemasangan tiang sangat kecil dibandingkan dengan massa tanah yang sangat besar yang terkena tekanan vertikal yang ditransmisikan ke tiang kelompok tersebut (Tomlinson, M.J, 2001).

2.3 Pile Cap

Tidak mungkin untuk memastikan bahwa tiang dipancang atau dibor benar-benar vertikal atau tepat pada rake yang ditentukan. Spesifikasi ICE untuk *pilling* memungkinkan penyimpangan pada tingkat permukaan awal yang tidak melebihi 75 mm ke arah manapun dari pusat tiang saat didorong ke titik tengah yang ditunjukkan pada gambar pengaturan. Penyimpangan ini untuk kepala tiang terputus pada atau di atas permukaan tanah. Penyimpangan tambahan diperbolehkan untuk kepala tiang dipotong di bawah permukaan tanah agar sesuai dengan penyimpangan maksimum yang diizinkan dari 1 dalam 75 untuk tiang vertikal, dan 1 dari 25 untuk *rake* khusus tiang yang ditentukan untuk mengumpulkan sampai 1 dari 6 dan 1 dalam 15 untuk *piles raking* sampai lebih dari 1 dalam 6. Toleransi untuk *piles raking* berasumsi bahwa persyaratan yang ditentukan untuk memberi toleransi 1 dari 50 dalam menyiapkan penumpukan tercapai (Tomlinson, M.J, 2001).

Oleh karena itu, *pile cap* harus memiliki dimensi yang cukup sehingga memungkinkan mereka mengakomodasi tiang yang menyimpang dari posisi yang diinginkan. Hal ini dapat dilakukan dengan memperpanjang *pile cap* untuk jarak 100-150 mm di luar permukaan luar tiang pada kelompok. *Pile cap* harus cukup dalam untuk memastikan perpindahan beban penuh dari kolom ke tumpuan dalam meninjau geser dan dari tumpuan ke tiang (Tomlinson, M.J, 2001).

Pada kelompok tiang yang terisolasi, *pile cap* harus mencakup setidaknya tiga tiang untuk memastikan stabilitas terhadap kekuatan lateral. *Pile cap* hanya untuk dua tumpukan harus dihubungkan dengan balok dasi ke tutup yang berdekatan. Desain tipikal dari *pile caps* untuk berbagai jumlah tumpukan ditunjukkan pada Gambar 2.5 a sampai 2.5 e (Tomlinson, M.J, 2001).



Gambar 2.5 Macam-macam *Pile Cap* (a) Cap untuk Tiga Tiang Berdiameter 450 mm (b) Cap untuk Empat Tiang Bersisi 350 mm (c) Cap untuk Enam Tiang Bersisi 400 mm (d) Cap untuk Tujuh Tiang Berdiameter 450 mm (e) Cap untuk Enam Belas Tiang Bersisi 350 mm

(Sumber: M.J Tomlinson, 2001)

2.4 Pembebanan

Beban yang bekerja pada struktur bangunan dapat digolongkan berdasarkan arah kerja yang terbagi menjadi 2 (dua), yaitu beban vertikal (gravitasi) dan beban horizontal (lateral).

2.4.1 Beban Vertikal (Gravitasi)

2.4.1.1 Beban Mati atau *Dead Load* (DL)

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu (Peraturan Pembebanan Untuk Gedung Pasal 1.0. No 1 Tahun 1983).

2.4.1.2 Beban Hidup atau *Live Load* (LL)

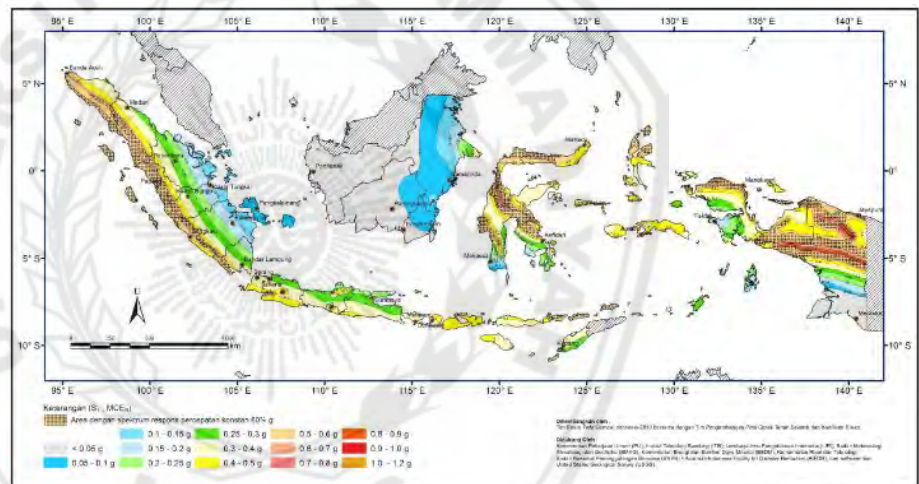
Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masih hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut (Peraturan Pembebaanan Untuk Gedung Pasal 1.0. No 2 Tahun 1983).

2.4.2 Beban Horizontal (Lateral)

2.4.2.1 Beban Gempa atau *Earthquake Load* (E)

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu (Peraturan Pembebaanan Untuk Gedung Pasal 1.0. No 4 Tahun 1983).

Menurut SNI 1726-2012, peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko dari gempa maksimum yang dipertimbangkan (*Maximum Considered Earthquake*, MCE) yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7, yaitu parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 0,2 detik (S_s) dan parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik (S_1).



Gambar 2.7 Ss, Gempa Makmimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCE_R) Kelas Situs S_B

Semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara disebut beban angin. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan) yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m^2 , ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup (Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung No. 3 Tahun 1983).

Semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara disebut beban angin. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan) yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m^2 , ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup (Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung No. 3 Tahun 1983).

2.4.3 Beban Kombinasi Berfaktor

Pada perancangan struktur bangunan gedung dan non gedung digunakan kombinasi pembebanan berdasarkan metode ultimit dan metode tegangan ijin sesuai dengan SNI 03-1726-2012.

Tabel 2.1 Kombinasi Beban untuk Metode Ultimit dan Metode Tegangan Ijin

Beban	Metode Ultimit	Metode Tegangan Ijin
Beban Mati	$1,4 D$	D
Beban Hidup	$1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$	$D + L$ $D + (L_r \text{ atau } R)$ $D + 0,75 L + 0,75 (L_r \text{ atau } R)$
Beban Angin	$1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$ $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$ $0,9 D + 1,0 W$	$0,6 D + 0,6 W$ $0,6 D + 0,7 E$ $D + (0,6 W \text{ atau } 0,7 E)$ $D + 0,75 (0,6 W \text{ atau } 0,7 E)$ $D + 0,75 (0,6 W \text{ atau } 0,7 E) + 0,75 L + 0,75 (L_r \text{ atau } R)$
Beban Gempa	$1,2 D + 1,0 E + L$ $0,9 D + 1,0 E$	

2.5 Perencanaan Daya Dukung Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*) Berdasarkan Data Sondir

Di antara beberapa penyelidikan tanah di lapangan, sondir atau *cone penetration test* (CPT) dipertimbangkan dalam bidang geoteknik. Sondir atau CPT merupakan salah satu cara penyelidikan tanah yang cepat, sederhana, ekonomis dan bisa dipercaya di lapangan dengan pengukuran terus-menerus dari permukaan tanah-tanah dasar. Sondir atau CPT juga bisa mengklasifikasi lapisan tanah dan bisa memperkirakan kekuatan dan karakteristik tanah. Pada perencanaan pondasi tiang bor, data tanah sangat dibutuhkan untuk merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) sebelum konstruksi suatu gedung dilakukan untuk menentukan kapasitas daya dukung ultimit pondasi tiang bor.

2.5.1 Uji Penetrasi Kerucut (Sondir) atau *Cone Penetration Test (CPT)*

Uji penetrasi kerucut menawarkan cara yang hemat biaya dan cepat untuk mendapatkan informasi berkualitas mengenai stratigrafi bawah permukaan dan evaluasi sifat tanah untuk desain tiang bor. Prosedur CPT terdiri dari mendorong probe baja silindris dengan ujung kerucut ke tanah sambil mengukur terus hambatan terhadap penetrasi. Kekuatan ujung per unit area yang diproyeksikan ditetapkan sebagai resistansi ujung kerucut (q_c), sementara gaya yang dibawa oleh lengan yang disebarkan di atas area permukaan lengan ditunjuk sebagai gesekan lengan (f_s). Rasio gesekan lengan ke kerucut ujung resistansi adalah rasio gesek, biasanya dinyatakan sebagai presentase (FHWA NHI-10-016).

Keuntungan penggunaan CPT yang paling utama ialah:

- a. Cepat, relatif murah, dan sangat praktis.
- b. Hasilnya langsung dapat digunakan.
- c. Sangat cocok untuk daerah-daerah yang agak terpencil dengan aksesibilitas yang sulit, karena ada jenis alat ini yang relatif ringan dan dapat dipanggul oleh manusia/hewan.
- d. Untuk jenis yang lebih mutakhir seperti piezocone, seismic cone dapat juga untuk mengukur:
 - Tegangan pori dari air tanah di sekitar lubang uji.
 - Jenis tanah dan ketebalan lapisan yang ada.
 - Kondisi kepadatan tanah: rapat, renggang (Mochtar, Indrasurya B., 1995).

Kerugian penggunaan CPT sebagai berikut:

- a. Sondir ringan tidak dapat menembus lapisan tanah keras yang relatif tipis. Juga kalau tanahnya mengandung batu-batuan lepas, pembacaan konus menjadi tidak representatif (ujung sondir sukar untuk dapat melewati batuan tersebut).
- b. Masih tetap harus dilakukan bor untuk mengetahui tebal lapisan tanah keras yang tak dapat ditembus oleh sondir.

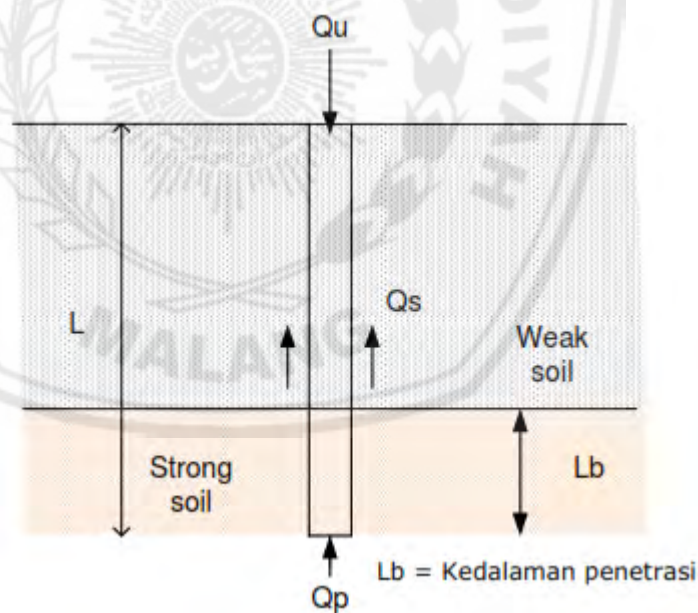
- c. Tidak memberikan data-data lain yang mungkin diperlukan untuk perencanaan, misalnya antara lain: kepadatan tanah (γ_t) secara pasti, plastisitas tanah, dan angka pori tanah.
- d. Hasil sondir sampai saat ini belum dapat benar-benar memberikan parameter-parameter tanah tambahan seperti misalnya parameter konsolidasi dan parameter dinamis (Mochtar, Indrasurya B., 1995).

2.6 Daya Dukung Ijin Tiang

Daya dukung ijin tiang ditinjau berdasarkan kekuatan ijin tekan dan kekuatan ijin tarik. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi tanah dan kekuatan material tiang itu sendiri (Pamungkas, 2013).

2.6.1 Daya Dukung Ijin Tekan

Analisis daya dukung ijin tekan pondasi tiang terhadap kekuatan tanah mempergunakan formula sebagai berikut :



Gambar 2.8 Skema Daya Dukung Tekan Ultimit

Berdasarkan data sondir (Guy Sangrelat)

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.2)$$

$$Q_u = q_c \times A_p + T_f \times A_{st} \quad (2.3)$$

$$Q_a = \frac{q_c \times A_p}{FK1} + \frac{T_f \times A_{st}}{FK2} \quad (2.4)$$

dimana:

Q_u = daya dukung ultimit tekan tiang

Q_p = daya dukung ujung tiang

Q_s = daya dukung friksi

Q_a = daya dukung ijin tekan tiang

q_c = tahanan ujung konus sondir

A_p = luas penampang tiang

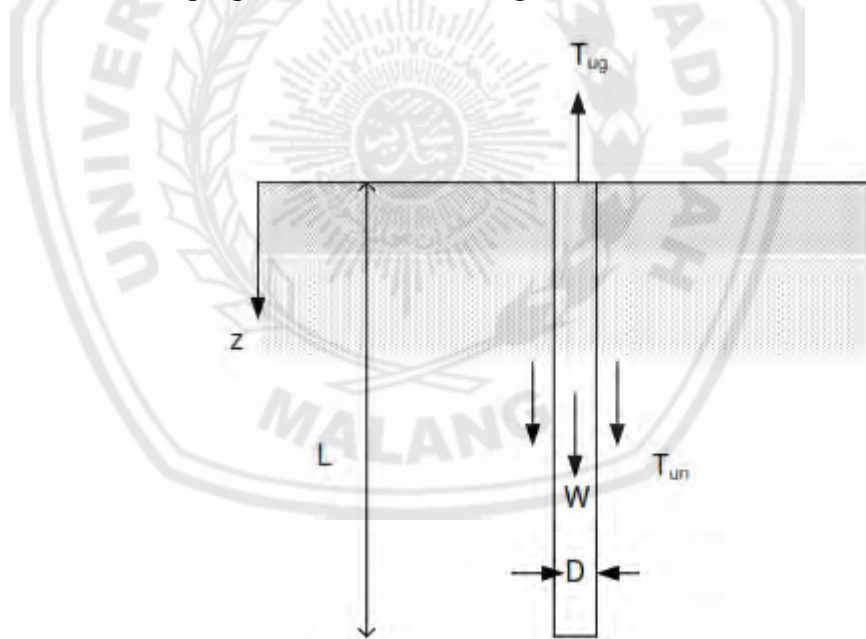
T_f = total friksi/jumlah hambatan pelek

A_{st} = keliling penampang tiang

FK1, FK2 = faktor keamanan, 3 dan 5

2.6.2 Daya Dukung Ijin Tarik

Analisis daya dukung ijin tarik pondasi tiang terhadap kekuatan tanah mempergunakan formula sebagai berikut:



Gambar 2.9 Skema Daya Dukung Tarik Ultimit

Berdasarkan data sondir (Guy Sangrelat, Mayerhof)

$$T_{ug} = T_{un} + W \quad (2.5)$$

$$T_a = \frac{(T_f \times A_{st}) \times 0,70}{FK2} + W \quad (2.6)$$

dimana:

T_{ug}	= daya dukung ultimit tarik tiang bruto
T_{un}	= daya dukung ultimit tarik tiang netto
T_a	= daya dukung ijin tarik tiang
W	= berat pondasi

2.7 Jumlah Tiang yang Dibutuhkan

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan pada suatu titik kolom menggunakan beban aksial dengan kombinasi beban DL + LL (beban tak terfaktor). Jumlah tiang yang diperlukan dihitung dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang (Pamungkas, 2013).

$$np = \frac{P}{P_{all}} \quad (2.7)$$

dimana:

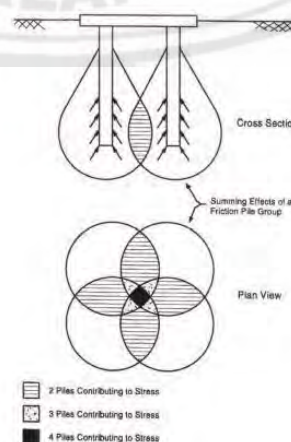
np = jumlah tiang

P = gaya aksial yang terjadi

P_{all} = daya dukung ijin tiang

2.8 Daya Dukung Ijin Kelompok Tiang

Daya dukung kelompok tiang bor terhadap beban vertikal belum tentu merupakan jumlah dari tahanan aksial tiang tunggal dalam kelompok. Pada tiang kelompok, zona pengaruh dari tiang bor individu dapat berpotongan dengan tiang lainnya, tergantung pada jarak tiang, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 14-3 (FHWA NHI-10-016).



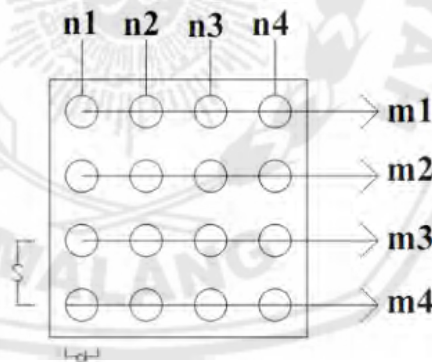
Gambar 2.10 Pengaruh Area Tumpang Tindih pada Kelompok Tiang

(Sumber: FHWA NHI-10-016)

Selain efek zona pengaruh yang saling tumpang tindih, efek konstruksi pada kondisi tanah di dalam dan di sekitar kelompok bisa signifikan. Elemen penggalian pondasi dalam (seperti tiang bor dan tiang auger penerbangan berkelanjutan), umumnya cenderung mengurangi tegangan efektif dari tanah di sekitarnya, atau paling baik mempertahankannya pada kondisi istirahat (K_0). Perubahan tegangan efektif lebih terasa di tanah yang tidak kohesif. Konstruksi tiang yang dikontrol dengan buruk dapat mengakibatkan longsoran tanah selama pengeboran dan mengurangi tegangan lateral di sekitar tiang yang terpasang sebelumnya. Beberapa teknik yang digunakan untuk konstruksi tiang bor, seperti casing yang didorong sebelum penggalian (FHWA NHI-10-016).

Pengurangan daya dukung kelompok tiang yang diakibatkan oleh aksi kelompok ini umumnya dinyatakan dalam suatu angka efisiensi. Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus Converse-Labarre dari *Uniform Building Code* AASHTO adalah:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 mn} \quad (2.8)$$



Gambar 2.11 Susunan Kelompok Tiang

dimana:

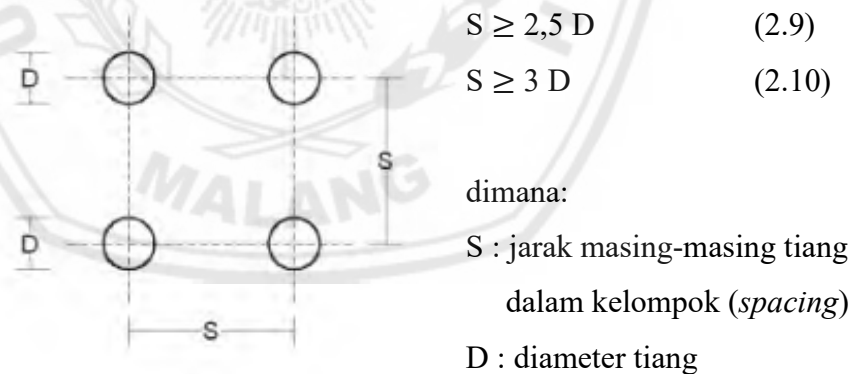
- E_g = efisiensi kelompok tiang
- θ = arc tg (D/s) (derajat)
- D = ukuran penampang tiang
- s = jarak antar tiang (as ke as)
- m = jumlah tiang dalam satu kolom
- n = jumlah tiang dalam satu baris

Daya dukung ijin kelompok tiang = $E_g \times \text{jumlah tiang} \times \text{daya dukung ijin tiang}$. Daya dukung kelompok tiang harus lebih besar dari gaya aksial yang terjadi (Pamungkas, 2013).

2.9 Jarak antar Tiang dalam Kelompok

Jarak minimum dari 3 diameter tengah ke tengah antara tiang (2 diameter jarak yang jelas) adalah tipikal praktik rutin di dalam industri ini. Ada kalanya 2,5 diameter di tengah (1,5 diameter jelas) dapat menguntungkan, walaupun efisiensi kelompok terhadap momen overturning berkurang karena jarak tiang berkurang. Pada jarak dekat, urutan operasi konstruksi harus direncanakan agar tidak menimbulkan potensi komunikasi antar tiang-tiang selama penggalian dan penempatan beton. Selain itu, pengeboran lubang kurang dari 3 diameter di tengah dari tiang yang ada di dekatnya dapat mengakibatkan pengurangan tegangan lateral dan / atau pelonggaran tanah di sekitar tiang pada beberapa jenis bahan. Kemajuan casing atas dari penggalian tiang merupakan salah satu sarana untuk menghindari efek samping tersebut (FHWA NHI-10-016).

Berdasarkan pada perhitungan daya dukung tanah oleh Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L disyaratkan:



Gambar 2.12 Jarak Pusat ke Pusat Tiang

(Sumber: Sardjono, 1991)

Umumnya disyaratkan pula jarak antara dua tiang dalam kelompok tiang, yaitu minimum 0,60 m dan maksimum 2,00 m.

2.10 Beban Maksimum Tiang pada Kelompok Tiang

Akibat beban-beban dari atas dan juga dipengaruhi oleh formasi tiang dalam satu kelompok tiang, tiang-tiang akan mengalami gaya tekan atau tarik.

Oleh karena itu, tiang-tiang harus dikontrol untuk memastikan bahwa masing-masing tiang masih dapat menahan beban dari struktur atas sesuai dengan daya dukungnya.

Beban aksial dan momen yang bekerja akan didistribusikan ke *pile cap* dan kelompok tiang berdasarkan rumus elastisitas dengan menganggap bahwa *pile cap* kaku sempurna. Sehingga pengaruh gaya yang bekerja tidak mengakibatkan *pile cap* melengkung atau deformasi. Untuk mencari beban maksimum dan minimum yang bekerja pada kelompok tiang tersebut dapat dilihat melalui persamaan berikut:

$$P_{\frac{max}{min}} = \frac{P_u}{np} \pm \frac{M_y \cdot X_{max}}{n_y \cdot \sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{max}}{n_x \cdot \sum y^2} \quad (2.11)$$

dimana:

P_{max} = beban maksimum tiang

P_u = gaya aksial yang terjadi (terfaktor)

M_y = momen yang bekerja tegak lurus sumbu y

M_x = momen yang bekerja tegak lurus sumbu x

X_{max} = jarak tiang arah sumbu x terjauh

Y_{max} = jarak tiang arah sumbu y terjauh

$\sum x^2$ = jumlah kuadrat X

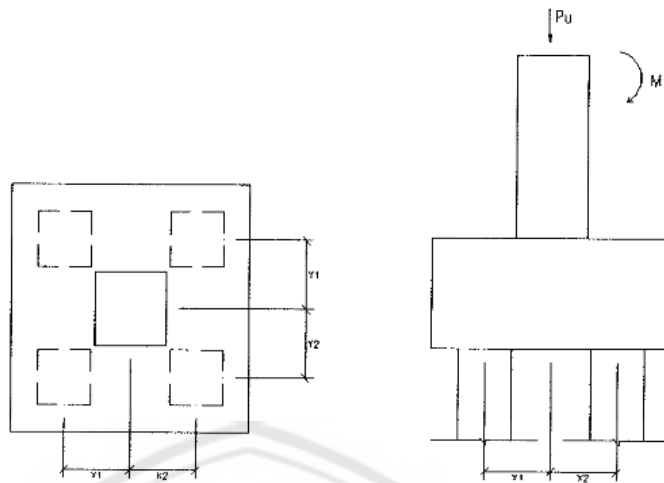
$\sum y^2$ = jumlah kuadrat Y

n_x = banyak tiang dalam satu baris arah sumbu x

n_y = banyak tiang dalam satu baris arah sumbu y

np = jumlah tiang

Bila $P_{maksimum}$ yang terjadi bernilai positif, maka *pile cap* menerima gaya tekan. Bila $P_{maksimum}$ yang terjadi bernilai negatif, maka *pile cap* menerima gaya tarik. Dari hasil-hasil tersebut dapat dilihat apakah masing-masing tiang masih memenuhi daya dukung tekan dan/atau tarik bila ada (Pamungkas, 2013).



Gambar 2.13 Beban yang Bekerja pada *Pile Cap*

2.11 Daya Dukung Horizontal

Kondisi tanah pada proyek condotel ini adalah tanah berlapis sehingga untuk menghitung daya dukung horizontal digunakan metode Brinch Hansen. M.J. Tomlinson (1977) menyebutkan bahwa langkah pertama untuk menghitung daya dukung horizontal adalah menentukan apakah tiang berperilaku *short rigid* atau *long flexible* / *long elastic* dengan cara menghitung faktor kekakuan R atau T.

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} \quad \text{Rigid} \rightarrow L \leq 2T \quad \text{Elastic} \rightarrow L \geq 4T$$

dimana:

E = modulus elastis beton n_h = koefisien modulus variasi

I = momen inersia L = panjang tiang

M.J Tomlinson (1977) menyebutkan bahwa penelitian lain mengenai nilai n_h sebagai berikut:

Soft normally-consolidated clays : 350 – 700 kN/m³

Soft organic silts : 150 kN/m³

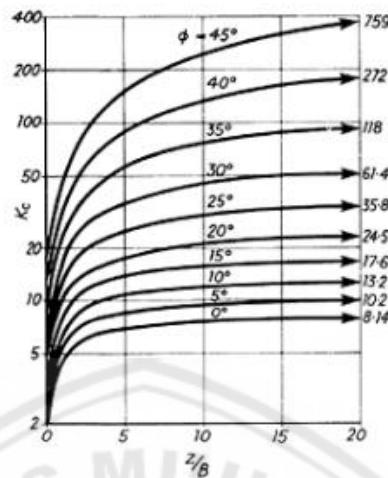
$$p_z = c \cdot K_{cz}$$

dimana:

p_z = tahanan pasif elemen pada kedalaman z di bawah permukaan tanah

c = kohesi tanah

K_{cz} = koefisien tekanan pasif



Gambar 2.14 Koefisien Brinch Hansen K_c

$$\sum M = \sum_{z=0}^{z=x} p_z \frac{L}{n} (e + z) B - \sum_{z=x}^{z=L} p_z \frac{L}{n} (e + z) B$$

dimana:

M = momen titik beban horizontal

L = panjang tiang e = tinggi dari permukaan tanah

n = convenient number ke titik beban

z = kedalaman tahanan pasif B = lebar tiang

$$H_u (e + x) = \sum_0^x p_z \frac{L}{n} (x - z) B + \sum_x^{x+L} p_z \frac{L}{n} (z - x) B$$

dimana:

H_u = gaya horizontal x = titik rotasi

2.12 Penurunan Tiang Kelompok

Kelompok tiang bor yang dikenai beban vertikal secara signifikan, penurunan kelompok tiang cenderung lebih besar daripada penurunan tiang tunggal pada beban rata-rata yang sama, terutama untuk kasus di mana tanah di bawah lapisan *bearing* tiang adalah kompresibel. Penurunan kelompok tiang dapat dikaitkan dengan kombinasi kompresi elastis pada tiang, dan penurunan tanah di sekitarnya (FHWA NHI-10-016).

Jumlah penurunan elastis atau penurunan yang terjadi dalam waktu dekat (*immediate settlement* atau *elastic settlement*) S_i dan penurunan yang terjadi

dalam jangka waktu yang panjang (*long term consolidation settlement*) S_c disebut penurunan tiang pada kelompok tiang (Pamungkas, 2013).

Penurunan total merupakan penjumlahan dari kedua jenis penurunan tersebut.

$$S = S_i + S_c \quad (2.17)$$

dimana:

S = penurunan total

S_i = immediate settlement

S_c = consolidation settlement

2.12.1 Penurunan Segera (*Immediate Settlement*)

Penurunan yang didapat dari distorsi massa tanah yang tertekan dan terjadi pada volume konstan disebut penurunan segera. Menurut Janbu, Bjerrum, dan Kjaernsli (1956), hal itu dirumuskan sebagai berikut (Pamungkas, 2013).

$$S_i = \mu_1 \mu_0 \frac{qB}{E_u} \quad (2.18)$$

dimana:

S_i = penurunan segera

q = tekanan yang terjadi ($\frac{P_u}{A}$)

B = lebar kelompok tiang

E_u = modulus diformasi pada kondisi undrained

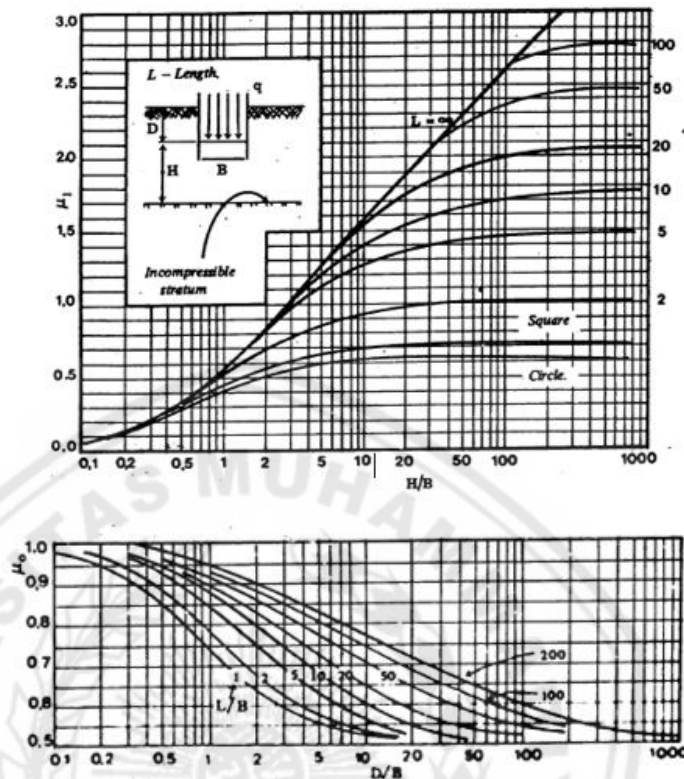
μ_i = faktor koreksi untuk lapisan tanah dengan tebal terbatas H

(Gambar 2.15)

μ_0 = faktor koreksi untuk kedalaman pondasi D_f (Gambar 2.15)

Harga modulus deformasi E_u diperoleh dari kurva tegangan regangan (*stress strain curve*) yang dihasilkan dari percobaan pembebanan tekan pada tanah kondisi *undrained*. Biasanya lebih dapat diandalkan untuk mendapatkan harga E_u dari *plate bearing test* di dalam lubang bora atau *trial pits*. Cara lain untuk mendapatkan nilai E_u adalah menggunakan hubungan antara E_u dengan kekuatan geser *undrained* (*undrained shear strength*) C_u dari tanah liat.

$$E_u = 400 \cdot C_u \quad (2.19)$$



Gambar 2.15 Grafik Hubungan μ_i , μ_o , Kedalaman Pondasi (Df) dan Lebar Pondasi (B). (Janbu, Bjerrum dan Kjaernsli).

(Sumber: Pamungkas, 2013)

2.12.2 Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)

Konsolidasi merupakan proses pengecilan volume tanah jenuh secara perlahan dengan permeabilitas rendah akibat keluarnya air pori. Proses tersebut berlangsung terus hingga kelebihan tekanan air pori yang diakibatkan oleh kenaikan tegangan total telah hilang. Pada kondisi konsolidasi tanah yang terkonsolidasi normal, jika tebal lapisan tanah sama dengan H maka penurunan yang terjadi:

$$S_c = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} \cdot H \quad (2.20)$$

Dengan substitusi persamaan menjadi:

$$S_c = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} \cdot H = \frac{H}{1 + e_0} \cdot C_c \cdot \text{Log} \frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \quad (2.21)$$

keterangan:

S_c = penurunan konsolidasi (m).

H = tebal lapisan tanah (m).

e_0 = angka pori pada tegangan P_0 (angka pori asli).

e = angka pori pada tegangan P .

C_c = indeks pemampatan (*compression index*).

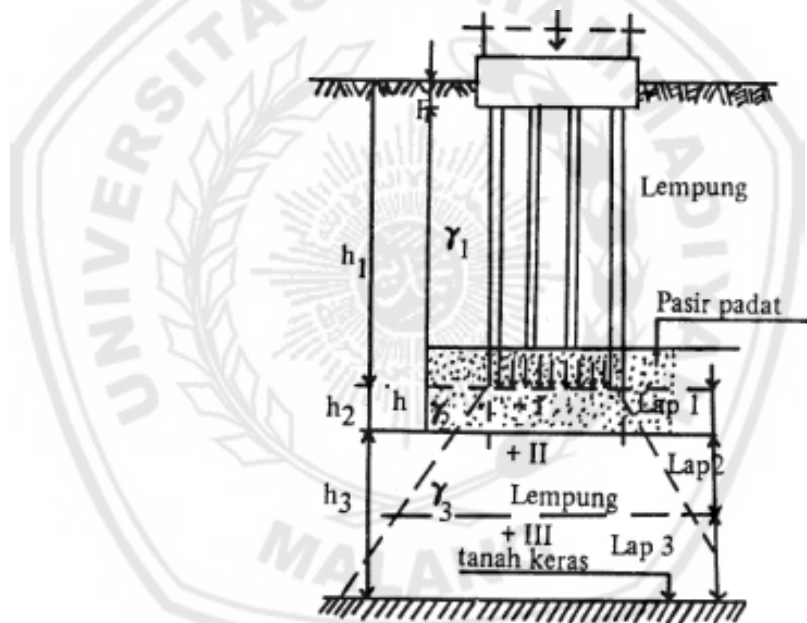
$$= 0,156 \cdot e_0 + 0,0107 \quad (\text{Rendon-Herrero-1980}) \quad (2.22)$$

P_0 = tegangan efektif pada lapisan tanah (t/m^2).

$$= \gamma_1 \times h_1 + (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) \times h_2 + \dots \quad (2.23)$$

Δp = perubahan tegangan pada lapisan tanah (t/m^2).

$$= \frac{A_0}{A_1} \cdot q \quad (2.24)$$



Gambar 2.16 Penurunan Konsolidasi Kelompok Tiang

(Sumber: Sardjono, 1991)

2.13 Perencanaan *Pile Cap*

Pile cap berguna sebagai pengikat tiang-tiang menjadi satu kesatuan dan meneruskan beban kolom menuju tiang. *Pile cap* umumnya terbuat dari beton bertulang. Perencanaan *pile cap* dilakukan anggapan sebagai berikut:

1. *Pile cap* sangat kaku.
2. Ujung atas tiang menggantung pada *pile cap*. Oleh karena itu, tidak ada momen lentur yang dihasilkan oleh *pile cap* ke tiang.

3. Tiang adalah kolom pendek dan elastis. Oleh karena itu distribusi tegangan dan deformasi membentuk bidang rata (Pamungkas, 2013).

2.13.1 Penulangan *Pile Cap*

Penulangan *pile cap* dianggap sama dengan penulangan pelat. Perencanaan penulangan *pile cap* mempunyai beberapa langkah sebagai berikut (Y. Rusdianto, 2005).

A. Merencanakan sebagai balok persegi dengan lebar (b) dan tinggi efektif (d).

$$K \text{ perlu} = \frac{M_u}{b \cdot d^2} \quad (2.25)$$

dimana:

M_u = momen yang terjadi pada balok (kgm)

b = lebar balok (m)

h = tinggi balok (m)

d = tinggi efektif (m) = $h - 60 \text{ mm}$ (2.26)

B. Rasio penulangan yang dapat diperoleh dengan,

$$\omega = 0,85 - \sqrt{0,72 - 1,7 \frac{K}{f_{c'}}} \quad (2.27)$$

$$\rho = \omega \cdot \frac{f_{c'}}{f_y} \quad (2.28)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_{c'}}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.29)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b \quad (2.30)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.31)$$

Pemeriksaan terhadap rasio tulangan tarik : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

dimana:

$F_{c'}$ = mutu beton (MPa)

F_y = mutu baja (Mpa)

$\beta_1 = 0,85$

C. Bila harga rasio penulangan tarik memenuhi syarat maka dilanjut dengan perhitungan luas tulangan.

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d_{\text{renc}} \quad (2.32)$$

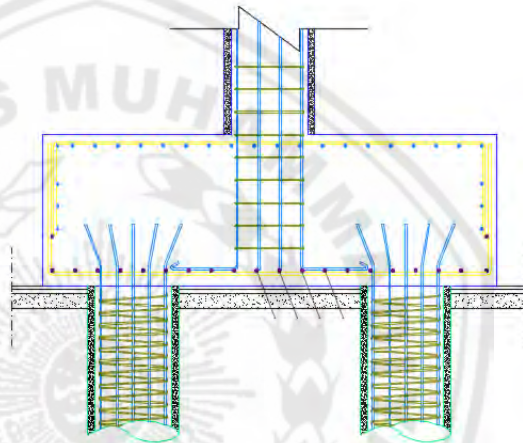
dimana:

A_s = luas tulangan (mm^2)

D. Dengan hasil luas tulangan yang telah diketahui, maka dapat dilanjutkan dengan merencanakan diameter dan jarak tulangan yang disesuaikan dengan luas tulangan yang telah dihitung.

E. Pemeriksaan terhadap tinggi efektif yang dipakai ($d_{\text{pakai}} > d_{\text{rencana}}$)

$$d_{\text{pakai}} = h - \text{selimut beton} - \varnothing \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \cdot \varnothing \text{ tulangan} \quad (2.33)$$



Gambar 2.17 Penulangan *Pile Cap*

2.13.2 Tinjauan Terhadap Geser

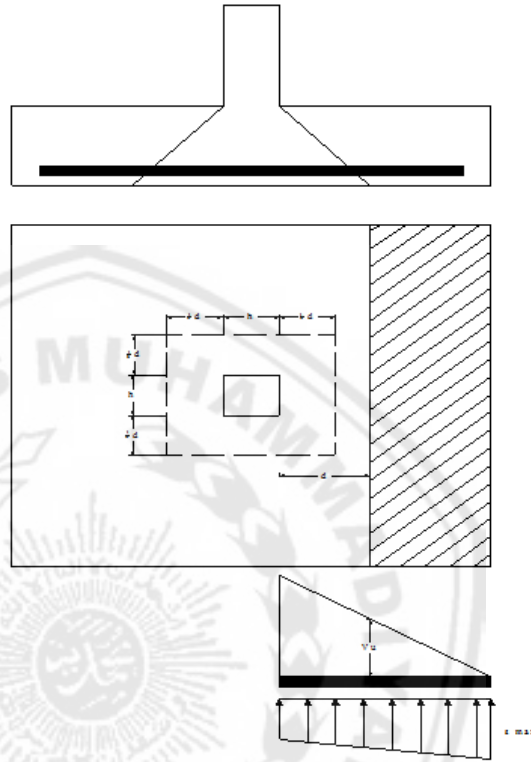
Perilaku *pile cap* sama dengan perilaku pondasi yang mana terhadap geser tidak berbeda dengan balok dan pelat (Y. Rusdianto, 2005).

2.13.2.1 Kontrol Terhadap Geser Pons yang Bekerja Satu Arah

Penampang kritis terhadap geser pada pelat pondasi terletak sejauh d dari muka reaksi terpusat dan terletak pada bidang yang melintang pada seluruh lebar pelat seperti terlihat pada Gambar 2.18. Apabila hanya geser dan lentur yang bekerja, maka kekuatan yang disumbangkan beton adalah,

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (2.34)$$

Gaya geser nominal penampang sejarak d dari muka kolom harus lebih kecil atau sama dengan kekuatan geser beton sehingga $V_n \leq V_c$.



Gambar 2.18 Penampang Kritis pada Pelat Pondasi pada Geser Satu Arah

Maka:

$$\frac{V_u}{\phi} \leq \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (2.35)$$

dimana:

V_u = gaya geser sejarak d dari muka kolom

V_c = geser beton

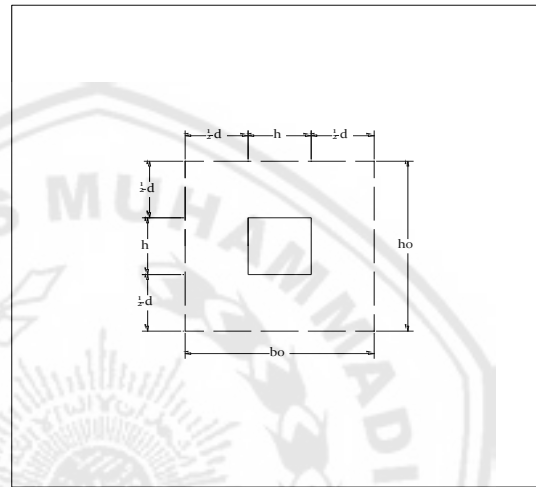
b_w = lebar pondasi (m)

$d = h - d'$ (h adalah tinggi pelat dan d' adalah selimut beton)

$\phi = 0,6$ (reduksi kekuatan untuk geser)

2.13.2.2 Kontrol Terhadap Geser Pons yang Bekerja Dua Arah

Bidang penampang kritis yang tegak lurus bidang pelat mempunyai keliling dengan masing-masing sisi sebesar b_0 dimana penampang kritis terjadi sejauh $\frac{1}{2} d$ dari muka tumpuan yang diperlihatkan pada Gambar 2.19. Kekuatan geser beton pada penampang kritis tersebut adalah,



Gambar 2.19 Daerah Geser Aksi Dua Arah Pada Pelat Pondasi

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_0}\right) 2 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \quad (2.36)$$

dimana:

$$\begin{aligned} b_o &= \text{keliling daerah kritis} \\ &= 2 (b_o + h_o) \end{aligned} \quad (2.37)$$

$$\beta_0 = \frac{h}{b} \quad ; h \text{ (sisi panjang kolom)} \quad (2.38)$$

; b (sisi pendek kolom)

d = tinggi efektif penampang (m)

Gaya geser nominal penampang:

$$\frac{V_u}{\phi} = V_n \leq V_c + V_s \leq 4 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (2.39)$$

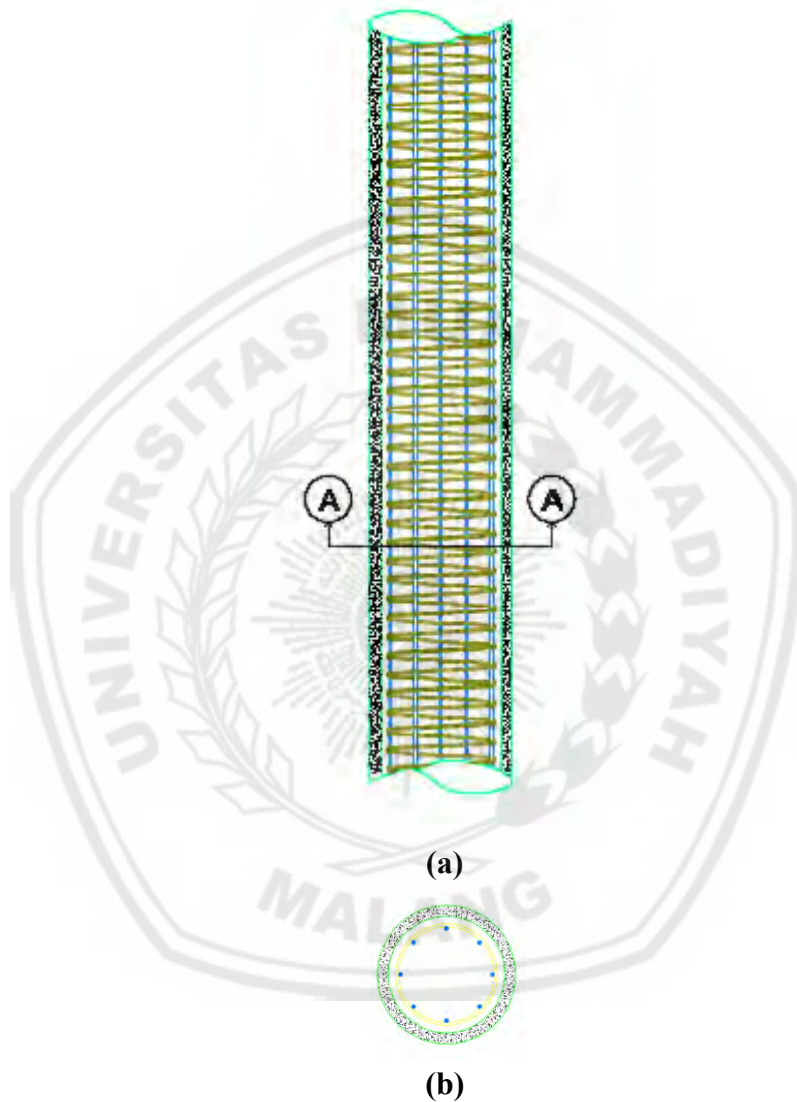
V_s = kuat geser tulangan geser.

$$V_u = \frac{P_u}{A} (h_o^2 - b_o^2) \quad (2.40)$$

P_u = beban berfaktor pada kolom

A = luas pondasi ($B \times L$)

2.14 Penulangan Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)



Gambar 2.20 a. Penulangan Pondasi Tiang Bor
b. Potongan A-A Pondasi Tiang Bor

Penulangan pada pondasi tiang bor (*bored pile*) sama halnya penulangan pada kolom, hanya saja penumpang yang digunakan ialah bentuk penampang bulat / lingkaran, mempunyai beberapa langkah sebagai berikut:

A. Menentukan luas tulangan longitudinal (A_{st}) yang akan digunakan.

Menurut SNI 2847:2013, luas tulangan struktur komponen tekan tidak boleh kurang dari **0,01 A_g** atau lebih dari **0,08 A_g** .

$$A_g = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \quad (2.41)$$

$$A_{st} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{st}^2 \cdot n \quad (2.42)$$

dimana:

A_g = luas penampang beton (mm^2)

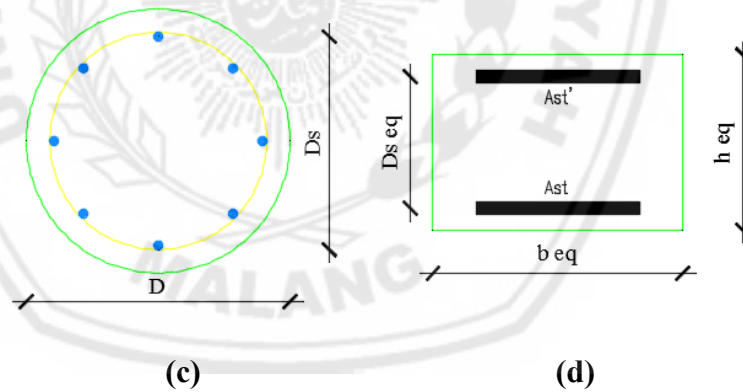
A_{st} = luas tulangan (mm^2)

D = diameter penampang beton (mm)

D_{st} = diameter tulangan (mm)

n = jumlah tulangan

B. Penampang pondasi tiang bor (*bored pile*) yang berbentuk lingkaran selanjutnya diekuivalenkan menjadi penampang segi empat guna menentukan eksentrisitas dalam keadaan seimbang (*balance*).



**Gambar 2.21 c. Penampang Lingkaran
d. Penampang Ekuivalen Persegi**

1. Tebal ekuivalen penampang segi empat

$$h_{eq} = 0,8 \times D \quad (2.43)$$

2. Lebar ekuivalen penampang segi empat

$$b_{eq} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}{h_{eq}} \quad (2.44)$$

3. Luas tulangan total A_{st} didistribusikan pada dua lapis

$$A_s = A_s' = \frac{1}{2} \cdot A_{st} \quad (2.45)$$

4. Jarak antar lapis tulangan

$$D_{seq} = \frac{2}{3} \times D_s \quad (2.46)$$

dimana:

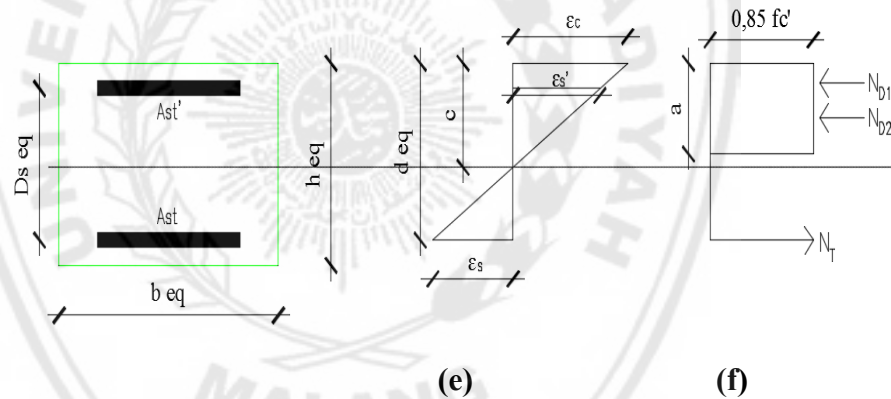
D_s = tinggi efektif penampang (mm)

C. Cek eksentrisitas rencana yang diberikan (e) dibandingkan terhadap eksentrisitas *balance* (e_b).

$$d_{eq} = D_{seq} + \frac{h_{eq} - D_{seq}}{2} \quad (2.47)$$

$$C_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d_{eq} \quad (2.48)$$

$$A_b = \beta_1 \times C_b \quad (2.49)$$



Gambar 2.22 e. Diagram Regangan Penampang Ekuivalen Persegi
f. Diagram Tegangan Penampang Ekuivalen Persegi

Regangan pada baja tulangan

$$\epsilon_s' = \frac{\epsilon_c \cdot \left(C_b - \frac{h_{eq} - D_{seq}}{2} \right)}{C_b} \quad (2.50)$$

Tegangan leleh baja tulangan

$$F_s' = E_s \times \epsilon_s' \quad (2.51)$$

Gaya aksial tekan dalam keadaan seimbang (*balance*)

$$P_{ub} = (0.85 \times f_c' \times A_b \times B_{eq}) + (A_s' \times F_s' - A_s \times f_y) \quad (2.52)$$

Momen dalam keadaan seimbang (*balance*)

$$M_{ub} = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_b \cdot B_{eq} \cdot (1/2 h_{eq} - 1/2 A_b) + A_s' \cdot f_s' \cdot$$

$$(1/2 h_{eq} - \frac{h_{eq} - D_{seq}}{2}) + A_s \cdot f_y \cdot (d_{eq} - 1/2 h_{eq}) \quad (2.53)$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} \quad (2.54)$$

$$e_b = \frac{M_{ub}}{P_{ub}} \quad (2.55)$$

- Jika keadaan **Pu < Pb** atau **e > eb**, maka keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tarik dengan eksentrisitas besar.
- Jika keadaan **Pu > Pb** atau **e < eb**, maka keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tekan dengan eksentrisitas kecil.

Whitney juga memberikan persamaan pendekatan empiris untuk dimensi penampang kolom bulat, baik hancur tekan maupun tarik (Istimawan, 1993).

- Persamaan untuk penampang bulat dengan hancur tarik menentukan:

$$P_n = 0,85 f_c' h^2 \left(\sqrt{\left(\frac{0,85 e_b}{h} - 0,38 \right)^2 + \frac{\rho_g m D_s}{2,5 h}} - \left(\frac{0,85 e_b}{h} - 0,38 \right) \right) \quad (2.56)$$

- Persamaan untuk penampang bulat dengan hancur tekan menentukan:

$$P_n = \frac{A_s \cdot f_y}{\frac{3e}{D_s} + 1,0} + \frac{A_g \cdot f_c'}{\frac{9,6 h e}{(0,8 h + 0,67 D_s)^2} + 1,18} \quad (2.57)$$

dimana:

h = diameter penampang

D_s = diameter lingkaran tulangan terjauh dari sumbu

e = eksentrisitas terhadap pusat plastis penampang

$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g} = \frac{\text{luas penulangan total}}{\text{luas penampang bruto}} \quad (2.58)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} \quad (2.59)$$

$$\text{Syarat : } \phi P_n \geq P_u \quad (2.60)$$

2.14.1 Perencanaan Sengkang

Tulangan pengikat yang digunakan untuk pondasi tiang bor (*bored pile*) adalah tulangan spiral. Berikut ketentuan-ketentuan mengenai tulangan spiral menurut SNI 2847-2013:

- A. Untuk konstruksi cor di tempat, ukuran spiral tidak boleh kurang dari diameter 10 mm.
- B. Spasi bersih antar spiral tidak boleh melebihi 75 mm, atau tidak kurang dari 25 mm.
- C. Rasio volume tulangan spiral ρ_s tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (2.61)$$

dimana:

$$\rho_s = \frac{\text{volume tulangan spiral satu putaran}}{\text{volume inti kolom setinggi } s}$$

s = jarak spasi tulangan spiral pusat ke pusat

A_g = luas penampang lintang kotor dari kolom

A_{ch} = luas penampang lintang inti kolom (tepi luar ke tepi luar spiral)

f_y = tegangan leleh tulangan baja spiral, tidak lebih dari 400 MPa.